



La Lettre de l'OCIM

Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques

145 | 2013
janvier-février 2013

Évaluer la pollution de l'air au muséum d'Histoire naturelle de Rouen

Stéphane Marcotte, Lionel Estel, Sandra Leboucher et Sébastien Minchin



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ocim/1170>

DOI : 10.4000/ocim.1170

ISSN : 2108-646X

Éditeur

OCIM

Édition imprimée

Date de publication : 1 janvier 2013

Pagination : 13-17

ISSN : 0994-1908

Référence électronique

Stéphane Marcotte, Lionel Estel, Sandra Leboucher et Sébastien Minchin, « Évaluer la pollution de l'air au muséum d'Histoire naturelle de Rouen », *La Lettre de l'OCIM* [En ligne], 145 | 2013, mis en ligne le 01 janvier 2015, consulté le 30 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/ocim/1170> ; DOI : 10.4000/ocim.1170

Tous droits réservés

Évaluer la pollution de l'air au muséum d'Histoire naturelle de Rouen

Stéphane Marcotte, Lionel Estel,
Sandra Leboucher et Sébastien Minchin *



Installation d'une pompe à air
dans les réserves du muséum
© Muséum de Rouen

* Stéphane Marcotte est enseignant et chercheur
en analyse chimique au sein du COBRA UMR 6014
à l'INSA de Rouen

stephane.marcotte@insa-rouen.fr

Lionel Estel est professeur au laboratoire de Sécurité
des Procédés chimiques à l'INSA de Rouen

lionel.estel@insa-rouen.fr

Sandra Leboucher est restauratrice *naturalia*
au muséum de Rouen

sleboucher@rouen.fr

Sébastien Minchin est directeur du muséum de Rouen
sminchin@rouen.fr

L'étude présentée ici a consisté à identifier les polluants – notamment organiques – et leur concentration dans l'air, à cartographier la pollution dans les différents locaux (salles d'exposition, atelier, lieux de stockage) et à évaluer les risques pour les visiteurs et les personnels afin d'envisager un plan d'action comprenant des mesures de décontamination et des mesures préventives destinées à améliorer la qualité de l'air circulant dans l'établissement.

Le problème de la pollution de l'air à l'intérieur des habitations et des bâtiments devient une préoccupation croissante ces dernières années. Dans le cas des muséums d'Histoire naturelle, la situation peut être d'autant plus problématique que la qualité de l'air y est affectée depuis plus d'un siècle par l'utilisation importante de composés toxiques utilisés pour la conservation préventive et curative. Ces produits organiques (pesticides, solvants...) ou inorganiques (arsenic...) se retrouvent au sein des collections mais aussi dans les locaux sous la forme de poussières ou de composés volatiles ce qui peut représenter un risque à la fois pour le personnel et pour les visiteurs.

De nombreuses études ont pu montrer une contamination importante des spécimens conservés par des composés inorganiques et organiques. Par exemple l'arsenic, sous forme de trioxyde d'arsenic, d'arsenate V et d'arsenate III, a été employé depuis le XVIII^e siècle jusqu'à la fin du XX^e siècle. Ce composé se retrouve ainsi abondamment sur les spécimens naturalisés,

aussi bien anciens que récents, et impose des moyens de protection et des lieux de travail adaptés (Péquignot, Marte et Von Endt, 2006 ; Poulin, 2004). Le XX^e siècle a vu le développement de la chimie de synthèse, et l'utilisation des produits phytosanitaires organiques. Le DDT (Dichloro diphenyl trichloro-éthane) a ainsi été couramment utilisé à partir des années 1950 jusqu'à la fin des années 1970. Ce produit, classé comme CMR (Composé Mutagène et Reprotoxique), est aujourd'hui interdit. Il en est de même pour le Lindane ou le paradichlorobenzène qui a pour sa part été utilisé jusqu'à la fin des années 1990. De nos jours, on utilise encore des pesticides de synthèse comme les pyréthrinoides. D'autres composés utilisés dans la conservation ou comme solvants sont susceptibles aussi d'être présents dans l'air. C'est par exemple le cas du formaldéhyde, longtemps utilisé pour la conservation des spécimens liquides.

Produit	Dates d'utilisation au muséum d'Histoire naturelle de Rouen
DDT	jusqu'en 1982
Emmenthrine	depuis 2005
Lindane	jusqu'en 1982
Paradichlorobenzène	1976-1998
Dichlorovos	1987-2007
Formaldéhyde	jusqu'en 2006
Acétone	depuis 1983
White spirit	depuis 1983
Trichloréthylène	jusqu'en 2006
Ethanol	toujours
Essence de térébenthine	toujours
Créosote de hêtre	1976-2006

Au fil des années, ces composés se sont donc accumulés sur les collections et dans les locaux (Schieveck et al., 2007). Ils présentent un risque potentiel pour le personnel. Si la contamination des collections a été assez bien étudiée, il n'en est pas de même pour la pollution de l'air.

Le muséum de Rouen a souhaité réaliser un état des lieux de cette pollution. L'objectif est d'identifier les polluants présents dans l'air puis d'en déterminer la concentration. Ces données permettront de déboucher sur des plans d'action mettant en œuvre des mesures de prévention et de décontamination adéquates. Un suivi dans le temps sera réalisé afin d'évaluer la pérennité de ces actions.

Un travail de sélection des polluants dans l'air puis de quantification a tout d'abord été réalisé au muséum de Rouen, l'objectif premier étant de connaître

l'exposition du personnel et des visiteurs à ces substances et de cartographier la pollution dans les locaux. Des campagnes de mesures ont ainsi été menées sur deux ans dans différents locaux : les salles de stockage, d'exposition et de travail. L'étude a aussi été complétée par des mesures sur le personnel pendant huit heures de travail afin d'évaluer l'impact sur leur santé. Des campagnes de mesures avec au total 188 prélèvements ont ainsi été effectuées. Nous en présentons ici les résultats.

Méthodes et matériel

Le prélèvement des composés organiques volatils et semi-volatils a été effectué au moyen d'une pompe aspirant l'air à débit constant (200 mL/min) pendant huit heures sur laquelle est fixé à l'entrée un adsorbant (XAD2, charbon actif, DNPH) qui va piéger les composés gazeux. Pour le prélèvement des poussières, le même dispositif est utilisé avec par contre un filtre à particules en microfibre de verre à l'entrée. De la poussière a également été prélevée directement dans les vitrines, dans les boîtes de stockage mais aussi dans les sacs aspirateurs servant au nettoyage des locaux.

Une fois les prélèvements effectués, les tubes d'adsorbant (XAD2 et charbon actifs) sont désorbés puis analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC/MS). Les poussières sont désorbées par solvant sous ultrasons puis analysées aussi par GC/MS. Concernant l'analyse du formaldéhyde, les tubes comportant la DNPH sont élués à l'acétonitrile puis analysés par chromatographie liquide haute performance. L'identification est réalisée par comparaison des spectres de masse et des temps de rétention avec les produits de référence (uniquement les temps de rétention en chromatographie liquide). Tous les composés sont quantifiés avec leur propre facteur de réponse.



Détail d'une pompe à air dans une vitrine
© Muséum de Rouen

Réglementation et valeurs de références

L'employeur doit procéder « de façon régulière au mesurage de l'exposition des travailleurs aux agents chimiques dangereux présents dans l'atmosphère des lieux de travail. » (article R4412-27 du Code du Travail). Cette réglementation est applicable depuis le 1^{er} janvier 2012, via le décret d'application n°2009-1570 du 15 décembre 2009 relatif au contrôle du risque chimique sur les lieux de travail. Les teneurs en composés chimiques dans l'air seront comparées aux teneurs limites de référence. Nous utiliserons en particulier celle de la Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP) qui a pour objectif de protéger à moyen et long terme la santé des travailleurs exposés régulièrement à l'agent chimique et ce, pendant la durée d'une vie de travail. Cette valeur correspond à la limite légale à laquelle les établissements doivent se référer.

Nous utilisons également les valeurs préconisées par l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA), ces valeurs étant plus régulièrement actualisées.

Résultats

Recherche des composés organiques volatils et semi-volatils dans l'air

Une première phase de sélection des polluants organiques a été réalisée par GC/MS en recherchant les produits utilisés depuis la création du muséum en 1876. Cette étude préliminaire a permis de retrouver certains produits attendus comme le DDT, le DDD (produit de dégradation du DDT), le lindane et le paradichlorobenzène. Il n'est pas étonnant d'en retrouver parfois plus de 30 ans après leur utilisation, ces composés étant connus pour être très persistants. D'autres produits non attendus ont pu être identifiés comme le toluène et le xylène. Ces produits sont des solvants qui ont pu être utilisés dans les peintures mais peuvent aussi provenir de la pollution urbaine. Le tableau ci-dessous reprend les produits détectés et leur limite d'exposition selon les différents organismes.

	Type de valeur	Valeur	Source	Date d'actualisation
Lindane	VLEP	500 µg/m ³	INRS	1992
	TWA ^a	500 µg/m ³	OSHA	2008
Paradichlorobenzène	VLEP	4500 µg/m ³	INRS	2004
	TWA ^a	450000 µg/m ³	OSHA	2004
DDT, DDD	VLEP	^b	INRS	
	TWA ^a	1000 µg/m ³	OSHA	2008

Tableau 1 : Récapitulatif des valeurs limite d'exposition pour les produits détectés

(a : Time weighted Average : moyenne temporelle pondérée sur 8 h ;
b : donnée non disponible)

Quantification des composés organiques volatils et semi-volatils dans l'air

Après cette étape de sélection, une campagne de mesures a été réalisée dans les lieux les plus représentatifs du muséum. Étant donné le caractère semi-volatil à volatil du paradichlorobenzène et du lindane, leur échantillonnage est réalisé sur charbon actif et sur résine XAD. Le DDT et le DDD nettement moins volatils sont plutôt présents sous forme de poussières et sont prélevés par filtration sur microfibre de verre.

Les résultats pour les différentes salles sont rassemblés dans le tableau 1. Seules les valeurs maximales sont reportées ici. La plupart du temps les produits ne sont pas détectés. On peut remarquer des concentrations tout à fait acceptables pour les différents produits, bien en dessous des limites réglementaires pour le paradichlorobenzène, le lindane, le DDD et le DDT. Il est à noter que les plus fortes teneurs se trouvent dans les salles comportant des mammifères et des oiseaux. La salle des invertébrés est peu affectée, alors qu'une odeur caractéristique de créosote de hêtre est présente et gêne les visiteurs. L'analyse dans cette salle montre que l'on ne retrouve pourtant aucun des composés aromatiques caractéristiques de la créosote de hêtre. Cela signifie que si les molécules sont présentes, elles le sont à des teneurs extrêmement faibles.

Concernant le formaldéhyde, il est à noter que les collections liquides sont dans des récipients scellés évitant une diffusion trop grande dans l'atmosphère. De plus, un remplacement quasi-systématique du formaldéhyde par de l'éthanol est effectué depuis quelques

	Paradichlorobenzène	Lindane	DDT-DDD	Formaldéhyde
	µg.m ³	µg.m ³	µg.m ³	µg.m ³
Salle d'exposition invertébrés	3,4	0,5	<0,5	18,1
Salle d'exposition oiseaux	38,9	4,8	0,9	^a
Salle d'exposition Mammifères	1	31,5	9	15,7
Réserve	1,7	1,8	<0,5	56,1
Petite réserve	<0,2	<0,3	<0,5	^a
Laboratoire	<0,2	<0,3	<0,5	40,3
VLEP (INRS)	4500	500	-	246
TWA (OSHA)	450000	500	1000	920

Tableau 2 : Teneurs maximales en produits organiques dans l'air selon les lieux de prélèvement

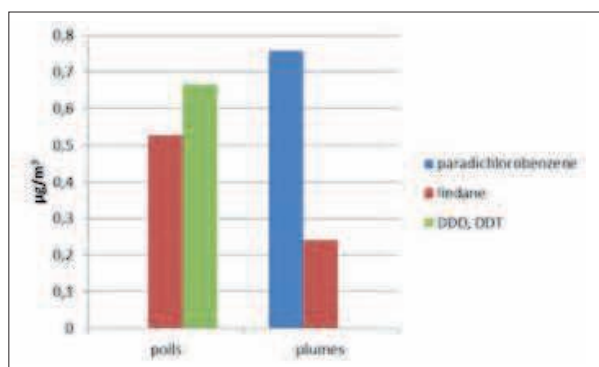
a : non mesuré

années et semble porter ses fruits en terme de contamination de l'air puisque les teneurs retrouvées sont tout à fait acceptables. Cependant la teneur mesurée dans les vitrines peut tout de même atteindre des valeurs allant jusqu'à $150 \mu\text{g.m}^3$ ce qui peut provoquer un risque lors de l'ouverture de ces dernières.

Influence des émissions selon le type de phanères

Afin d'étudier l'influence du type de phanères sur les émissions de polluants, nous avons effectué des prélèvements au plus près de deux types de spécimens (mammifères et oiseaux), soit les spécimens à poils et à plumes. Ces prélèvements ont été effectués simultanément et à proximité l'un de l'autre, ainsi les conditions climatiques sont les mêmes pour le prélèvement sur les spécimens à poils et à plumes.

On observe un comportement différent selon le type de phanères (voir histogramme ci-dessous). Dans le cas des plumes, sont observées des émissions de paradichlorobenzène plus importantes que dans le cas des poils avec des quantités de DDD et DDT non détectables. Par contre dans le cas de phanères de type poils, on observe une émission de paradichlorobenzène non détectable et une plus forte émission de DDD et DDT. Ces résultats corroborent les teneurs mesurées dans les différentes salles.



Émissions selon le type de phanères

Études des poussières

Une étude par aspiration des poussières présentes au sol et dans les vitrines a été systématiquement effectuée. Le lindane, le DDD, le DDT et le paradichlorobenzène sont retrouvés et ceci de façon quasi systématique avec des teneurs qui peuvent beaucoup varier de l'ordre de 1 à $400 \mu\text{g.m}^3$.

Mesures sur les personnes

Pour l'étude de l'impact sur les personnes, les pompes d'échantillonnage ont été fixées sur certains membres du personnel pendant une journée ordinaire de

travail de huit heures. Les personnes potentiellement les plus exposées aux substances travaillent aux pôles conservation, maintenance et inventaire. Les mesures ont été réalisées sur deux années consécutives.

	Paradichlorobenzène	Lindane ($\mu\text{g.m}^3$)	DDT-DDD ($\mu\text{g.m}^3$)
Pôle conservation (année 1)	1,7	2,8	546
Pôle conservation (année 2)	<0,2	<0,3	<0,5
Pôle maintenance	2,1	2,1	46
Pôle entretien	< 0,2	< 0,3	< 0,5
Pôle inventaire	0,7	0,2	10
VLEP (INRS)	4500	500	-
TWA (OSHA)	450000	500	1000

Tableau 3 : Teneurs en produits dans l'air selon les types de personnel.

On peut noter une exposition beaucoup plus importante pour le personnel travaillant au pôle conservation qui s'occupe en particulier de restaurer, nettoyer et dépoussiérer les spécimens naturalisés. L'exposition est plus faible pour le personnel des pôles maintenance, inventaire et entretien. Concernant le pôle conservation, on peut noter une forte diminution des teneurs sur les deux années consécutives qui sont particulièrement sensible sur le DDT-DDD du fait probablement d'une meilleure sensibilité au problème de la part du personnel ainsi qu'une diminution des particules en suspension (travaux la première année).

Conclusion

Ces premiers résultats sur l'analyse de l'air dans le musée de Rouen montrent une pollution très faible de l'air du musée à des taux bien en dessous des limites réglementaires. Si les composés les plus utilisés comme le DDT, le lindane et le paradichlorobenzène sont bien retrouvés, d'autres composés, d'utilisation plus récente comme les pyréthrinoides ne sont par contre pas détectés.

Cet état des lieux permet donc de définir des priorités en vue d'une amélioration de la qualité de l'air intérieur. C'est surtout sur les poussières que doivent se concentrer les efforts compte tenu de leur teneur parfois importante en polluants. La pollution au DDT est par exemple essentiellement particulaire car ce produit est peu volatil. On retrouve dans ce cas la même problématique que pour l'arsenic. Des mesures immédiates peuvent être prises pour le personnel en utilisant les équipements de protection individuelle.



Détail présentant les dépôts de poudre de DDT sur une aile.
© Muséum de Rouen

Ainsi, le port de masque anti-poussière et de gants en nitrile est indispensable lors du dépoussiérage ou de la manipulation des spécimens. Dans un second temps, il est aussi primordial d'assurer un bon nettoyage des locaux en particulier avec des aspirateurs équipés de filtres HEPA (High Efficiency Particules Arrestance) qui permettent de piéger les petites particules $< 0,3\mu\text{m}$. Enfin, un dépoussiérage et un nettoyage des collections doivent être effectués soit à l'air comprimé sous hotte, lorsque le spécimen le permet car cela peut être préjudiciable à la bonne conservation des phanères, ou au pinceau à l'aide d'un aspirateur muni d'un filtre HEPA et d'un variateur de puissance. Ces méthodes de décontamination mécanique ont déjà été utilisées avec succès par d'autres musées dans le cas de pollution au DDT (Odegaard, 2001 ; Schmidt, 2001).

Il semble plus difficile de lutter contre la pollution liée aux composés plus volatils comme le lindane et le paradichlorobenzène. À défaut d'une méthode absolue de décontamination, il convient pour le moment de jouer sur un système de ventilation efficace dans les salles, en particulier lors de la manipulation des spécimens. À plus long terme, des dispositifs de purification de l'air par lampe UV ou de filtration sur charbon actif sont actuellement à l'étude afin d'assainir l'air intérieur du musée.

Enfin, ce travail met en évidence l'absence de contamination mesurable de l'air par des pesticides récents. En effet, une utilisation raisonnée des pesticides depuis plusieurs années en particulier avec l'utilisation de pièges à phéromones et un meilleur contrôle des températures et de l'humidité des pièces a permis une diminution significative des traitements phytosanitaires.

Ce travail a été réalisé par trois équipes projets du département Maîtrise des Risques et Impact sur l'Environnement du département MRE et du département Chimie Fine et Ingénierie de l'INSA de Rouen : Hélène Boufflers, Jean-Baptiste Brun, Marion Cayo, Blandine De Rauglaudre, Marianna Gervaise, Katharina Gouzy-Hugelmeier, Élise Hallemans, Pierre Liberprey, Mathilde Manueco, Maria Murillo Marti, Cécile Noël, Lauren Prigent, Prisca Randrimihamina, Coralier Ravier et Amandine Tavernier.

Bibliographie

Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, *Proposition de Valeurs Guide de Qualité de l'Air Intérieur*, Document cadre et éléments méthodologiques, janvier 2007, 59 p.

Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, *Rapport du groupe d'experts Risques sanitaires liés aux émissions de composés organiques volatils par les produits de construction et d'aménagement intérieur*, octobre 2006, 160 p.

Instruction et arrêté pour la vente et l'emploi en agriculture des composés arsenicaux, Décret du 14 septembre 1916, *Journal officiel de la République Française*, 20 septembre 1916, pp. 8305-8306.

Odegaard, N. Methods to mitigate risks from use of contaminated objects, including methods to decontaminate affected objects, *Collection forum*, n°17 (1-2), 2001, pp. 117-121.

Péquignot, A., Marte, F. et Von Endt, D. Arsenic in Taxidermy collection : history, detection and management, *Collection Forum*, n°21 (1-2), 2006, pp. 143-150.

Péquignot, A., Marte, F. et Von Endt, D. L'arsenic dans les collections d'Histoire naturelle, *La Lettre de l'OCIM*, n°105, 2006, pp. 4-10.

Péquignot, A. Évaluation de la toxicité des spécimens naturalisés, *La Lettre de l'OCIM*, n°116, 2008, pp. 4-9.

Poulin J. La contamination des collections par des pesticides, *Bulletin de l'ICC*, n°33, mai 2004.

Schieweck, A., Delius, W., Siwinski, N., Vogtenrath, W., Genning, C. et Salthammer, T. Occurrence of organic and inorganic biocides in the museum environment, *Atmospheric Environment*, vol 41, 2007, pp. 3266-3275.

Schmidt, O. Insecticide contamination at the National Museum of Denmark : a case study, *Collection Forum*, n°16 (1-2), 2001, pp. 92-95.